

Traduzido do original em francês por Maria Aparecida Corrêa-Paty,
Scientiæ Studia (São Paulo, Br), 1, n°1, 2003, jan.-mar., 9-26.

A ciência e as idas e voltas do senso comum[#]

Michel PATY

RESUMO.

Não podemos conceber a compreensão e a comunicação de idéias sem fazer referência ao senso comum. Porém, por outro lado, todo conhecimento novo que seja importante precisa ultrapassar o senso comum e, portanto, romper com ele. Essas duas exigências, aparentemente contraditórias, podem ser conciliadas? E, se for o caso, de qual maneira? Devemos, na verdade, reconhecer que, quando conhecimentos novos são adquiridos e bem compreendidos, assimilados, completamente inteligíveis, e até ensinados; quando neles nos baseamos para avançar na direção de conhecimentos ainda mais novos, estes que foram adquiridos participam da constituição de um senso comum, modificado, diferente do precedente, mas que tem tanto direito quanto este à qualificação de «senso comum», exatamente no mesmo sentido que o antigo. Desta maneira, o senso comum se enriquece pela assimilação dos conhecimentos científicos. Mostraremos como ele beneficia, de fato, das «ampliações» da racionalidade que permitem compreender de que maneira o progresso do conhecimento torna-se possível. Vários exemplos examinados na área da física contemporânea (com a teoria da relatividade e a teoria quântica), ajudarão a explicitar concretamente a tese assim resumida. Estas considerações têm implicações éticas, do ponto de vista da comunicação, pela possibilidade de compartilhar o conhecimento em termos inteligíveis com os não-especialistas, através do senso comum submetido à crítica. Uma reflexão epistemológica se faz necessária a respeito dos elementos de significação do conhecimento a serem compartilhados prioritariamente.

RESUME.- *La science et les aller-retours du sens commun*

On ne peut concevoir de compréhension ni de communication sans référence au sens commun. Mais, d'un autre côté, il ne peut y avoir de connaissances nouvelles d'une certaine importance sans dépassement de ce sens commun, et donc sans une rupture avec lui. Ces deux exigences, qui paraissent à première vue contradictoires, peuvent-elles être conciliées? On doit considérer que lorsque des connaissances vraiment nouvelles sont assimilées et devenues pleinement intelligibles, qu'elles sont objet d'enseignement, voire de divulgation, et servent de base pour aller de l'avant vers «autres connaissances plus nouvelles encore, elles participent dès lors d'un nouveau sens commun», modifié, différent de celui qui précédait, mais avec la même fonction pour la compréhension et la communication. On montrera, en s'appuyant sur plusieurs exemples pris dans la physique contemporaine (théorie de la relativité et physique quantique), que ce nouveau sens commun bénéficie des élargissements de la rationalité qui permettent de comprendre qu'un progrès des connaissances soit possible. Ces considérations ont des implications éthiques, du point de vue de la communication, par la possibilité de partager les connaissances en termes intelligibles avec des non-spécialistes, à travers un sens commun soumis à l'exigence

[#] Conferência no 1º Congresso Internacional de Divulgação Científica (Unesco, Associação Brasileira de Divulgação Científica (ABRADIC) e Reitoria da USP), São Paulo, 26-29 de agosto de 2002 (dia 27.8).

de la critique. Il apparaît nécessaire de réfléchir sur les éléments de signification de la connaissance dont le partage est prioritaire, et sur les conditions de ce dernier.

ABSTRACT.- *Science and the go and returns of common sense*

Understanding and communication cannot be conceived without referring to common sense. But, from another side, the coming out of significant new knowledge needs overrunning this common sense, which implies breaking out with it. Can these two exigencies, which appear at first sight contradictory, be conciliated? One must consider that when truly new knowledges are assimilated and have become fully intelligible, so as to be taught, and even popularized, and to serve as a basis to go further towards other, newer, knowledges, the first ones are henceforth part of a new « common sense », modified and different from the preceding one, but still having the same function for understanding and communication. We show, by taking various examples from contemporary physics (relativity theory and quantum physics), that this renewed common sense takes profit of the widenings of rationality which allow to conceive that a progress of knowledge is possible. These considerations entail ethical implications, from the point of view of communication, concerning the sharing of knowledge with non-specialists in intelligible terms, through a common sense submitted to the requirement of criticism. Consequently, it appears necessary to think about the elements of meaning of knowledge whose sharing has priority, and about the conditions of such a sharing.

PALAVRAS-CHAVES. Ampliações da racionalidade. Assimilação. Ciência. Compreensão. Comunicação. Conhecimento novo. Ethica. Galileo. Intelligibilidade. Langevin. Física quântica. Popularização. Racionalidade. Relatividade (teoria da). Senso commun.

MOTS-CLES. Assimilation. Compréhension. Communication. Connaissances nouvelles. Divulgation. Elargissements de la rationalité. Ethique. Galilée. Intelligibilité. Langevin. Physique quantique. Rationalité. Relativité (théorie de la). Science. Sens commun.

KEY WORDS. Communication. Common sense. Ethics. Galileo. Intelligibility. Langevin. New Knowledge. Popularization. Quantum physics. Understanding. Rationality. Relativity theory. Science. Widenings of the rationality.

PLANO

1. Introdução
2. O senso comum
3. Conflito e renovação : o caso da teoria da relatividade
4. Comunicação e universalidade do conhecimento : a lição de Galileo e de Langevin
5. O desafio da física quântica
6. Conceitos e teoria em física clássica e em física quântica
7. As interpretações voltadas para o senso comum
8. A formação de uma inteligibilidade intuitiva
9. No rumo da questão « Ética e inteligibilidade »

Referências bibliográficas

1. INTRODUÇÃO

Não podemos conceber a compreensão ou a comunicação sem fazer referência ao senso comum, que é uma espécie de terreno fértil para nosso pensamento e nossas ações. Porém, por um outro lado, não existe possibilidade de aparecimento de novos conhecimentos de uma certa importância, sem ultrapassar o senso comum e, portanto, sem romper com ele. Estas duas exigências, aparentemente contraditórias, podem ser conciliadas? E se for o caso, de qual maneira?

Sabemos, em muitos casos, que os conhecimentos realmente novos surgem ao destronar certas idéias admitidas anteriormente como evidentes em nome do senso comum (por exemplo, na matemática ou na física, das geometrias não euclidianas até a física quântica, e também em outras disciplinas como a biologia evolucionista ou a biologia molecular, etc.). Uma vez assimiladas e plenamente compreensíveis, tais idéias passam a ser ensinadas e até divulgadas, atingindo o grande público e, simultaneamente, servem de base para se avançar na direção de outros conhecimentos ainda mais inovadores. Um novo «senso comum» foi reconstituído a partir delas, diferente daquele que o precedeu, mas exercendo a mesma função para a compreensão e a comunicação. Deste modo, o senso comum é enriquecido pela assimilação dos conhecimentos científicos e, de maneira geral, pela experiência humana.

Tentaremos mostrar que ele beneficia, de fato, das «ampliações» (dos «alargamentos») da racionalidade, única maneira de conceber que progressos sejam possíveis no campo do conhecimento. Vários exemplos examinados na área da física contemporânea (com a teoria da relatividade e a teoria quântica), ajudarão a explicitar concretamente a tese assim resumida. Estas considerações têm implicações éticas, do ponto de vista da comunicação, pela possibilidade de compartilhar o conhecimento em termos inteligíveis com os não-especialistas, através do senso comum submetido à crítica. Uma reflexão epistemológica se faz necessária a respeito dos elementos de significação do conhecimento a serem compartilhados prioritariamente. Concluiremos com uma evocação destas questões sobre a ética.

2. O SENSO COMUM

Começaremos por esclarecer o que se entende pela expressão «senso commun». Pode-se dizer, numa primeira abordagem, que o «senso commun» é uma disposição geral de todos os seres humanos para se adaptar às circunstâncias da existência e da vida ordinária. Ele se relaciona tanto aos sentidos, por tomar em conta dados dos órgãos sensoriais, quanto à capacidade de raciocínio, de reflexão sobre os elementos de uma situação. Na expressão «senso comum», a palavra «senso» se refere a uma espécie de síntese instintiva (mas também intuitiva) imediata, enquanto o termo «comum» indica o carácter ordinário, difundido, provavelmente generalizado, desta faculdade. Todavia estes termos, *senso*, *comum*, e *senso comum* são ambíguos e recobrem uma pluralidade de significações possíveis, como podemos ver nas suas utilizações as mais

variadas em diferentes épocas.

Para alguns, « *sensu commun* » equivale à « opinião comum » e se relaciona com os usos de uma cultura ou de uma dada civilização, impregnado de seu imaginário e de idéias convencionais ou preconceituosas : neste caso, senso comum se opõe à razão crítica e ao espírito científico. Para outros, o « senso comum » seria um fundo de noções et de aptidões necessárias ao exercício da capacidade de julgar partilhado por todos os homens, inscrito de toda a eternidade na natureza humana, que constituiria a base inalterável de todo pensamento racional e, portanto, de toda ciência. Tratar-se-ia de uma retomada da noção de “ bom senso ” entendido como razão, segundo a conhecida afirmação de René Descartes no *Discurso do Método* : « A capacidade de bem julgar e de distinguir o verdadeiro do falso, que é propriamente o que denominamos “ bom senso ” ou razão, é naturalmente igual em todos os homens »¹.

Na realidade, a aceitação da expressão « senso comum » em sua utilização corrente variou com o tempo. Ora ela foi tomada como a base de nossos julgamentos racionais, ora (principalmente da metade do século XIX até o século XX) vista, sobretudo, como a matriz de opiniões equivocadas que constituem um obstáculo ao pensamento científico.

Entretanto, expressões familiares e bastante difundidas hoje em dia como « o senso comum o diz, rapaz », ou « isso não tem senso comum »², sugerem uma aceitação implícita da noção de "senso comum" pelo ... senso comum, que valoriza seu lado racional e sua legitimidade "natural" como instância de julgamento. Precisamente por isso, tais expressões não suprimem a ambigüidade da noção, que lhe parece ser inerente : mesmo ao enfatizar a referência à razão, elas implicam a idéia de um julgamento médio adaptado à vida prática e social, que se deve tanto ao hábito quanto à opinião e às convenções. Ela também supõe que a razão que deve guiar o julgamento é a de que dispomos, nutrida dos conhecimentos admitidos. Mas o que é que nos dá a garantia de que esta « razão prática » seja suficiente para a constituição ou a aquisição de novos conhecimentos?

As próprias ciências e suas respectivas histórias fornecem-nos, por duas razões, dados preciosos de apreciação. Em primeiro lugar, *a ciência*, enquanto o conjunto dos conhecimentos científicos, que também compreende a evolução destes conhecimentos, constitui um fato inegável (um fato histórico, cultural, antropológico), com seus resultados verificáveis, por um lado, nas *aplicações* ao mundo real e, por outro, na *unidade do pensamento* conferida por ela (unidade parcial, mas em contínuo progresso). Esta unidade inclui a consciência da unidade da matéria e do mundo (a mesma matéria do cosmos, dos átomos, das formas orgânicas, etc). A segunda razão é que o conhecimento científico se coloca, mais explicitamente que outras formas de pensamento humano, *a questão de sua própria certeza* : ele pratica, metodicamente, a crítica permanente dos conhecimentos anteriores e se interroga sobre sua legitimidade, o

¹ « La puissance de bien juger et de distinguer le vrai d'avec le faux, qui est proprement ce qu'on nomme le bon sens ou la raison, est naturellement égale en tous les hommes » (René Descartes, *Discours de la méthode* (Descartes [1637])).

² As expressões comuns em francês são : « le sens commun le dit, petit ! » ; « cela n'a pas de sens commun ».

que implica, por sua vez, questionar *a legitimidade desta própria legitimidade*. As ciências nos oferecem um terreno fértil para compreender como a compreensão é possível, e como uma tal possibilidade se deve às transformações do próprio senso comum.

Mas antes de recorrer às lições dos conhecimentos científicos, nós já podemos constatar que o próprio senso comum, apreendido de maneira reflexiva, é capaz de engendrar sua própria transformação. Pode-se dizer, a este respeito, com Henri Poincaré, Emile Meyerson, Paul Langevin, Albert Einstein e alguns outros, que o pensamento científico nada mais é do que um senso comum mais aguçado³. Entretanto, o « gume » característico do pensamento científico leva a modificações a vezes radicais das noções e das aproximações do senso comum, como veremos mais longe. A transformação do senso comum ocorre desde que nós nos propomos a compreender as formulações verbais da linguagem, os pensamentos e as ações da vida corrente. *Compreender*, isto é, *explicitar e interrogar suas significações*, o que passa necessariamente pela crítica do que é, no princípio, dado como *evidente porque comum* (comumente recebido) Tal é o primeiro sentido da filosofia e de suas contínuas interrogações.

Pode-se encontrar um exemplo extremamente significativo em uma obra de ambição a primeira vista « simples » como o *Tractatus logico-philosophicus* de Ludwig Wittgenstein⁴, cujas proposições são colocadas, ao mesmo tempo, como imediatamente admissíveis e apontam, sem condescendência, as primeiras evidências aparentes, começando por aquelas da linguagem. A leitura deste livro (mas o mesmo se poderá dizer de outros, como, por exemplo, a *Ética* de Baruch Spinoza⁵) equivale, de alguma maneira, a realizar um parto socrático que termina por instaurar novas condições para a expressão de proposições que sejam legitimamente aceitáveis. O que corresponde a uma *elaboração do senso comum enquanto crítico dele mesmo*. Esta reflexividade analítica e crítica do senso comum é o que lhe permite estar muito mais em conformidade com as idéias de significação et de verdade. A lição não é fundamentalmente diferente daquela das ciências. Mas estas últimas nos ajudam a precisá-la e a ampliá-la.

3. CONFLITO E RENOVAÇÃO : O CASO DA TEORIA DA RELATIVIDADE

A história das disputas entre o pensamento científico e o senso comum é uma boa ilustração das ambivalências deste último. Gaston Bachelard mostrou, em sua obra *A formação do espírito científico (La formation de l'esprit scientifique)*, como os conceitos das ciências clássicas se impuseram nos séculos XVII e XVIII, opondo-se a noções e concepções comuns geradas por preconceitos, por imagens de origem psicológica e por analogias mais imaginativas do que

³ Veja, em particular, Meyerson [1908, 1921, 1931].

⁴ Ludwig Wittgenstein, *Tractatus logico-philosophicus* (Wittgenstein [1921]). Veja varias observações do mesmo sobre o senso comum no *Notebook (1914-1916)*, e também no seu *On Certainty* (respetivamente, Wittgenstein [1921, 1961, 1969]).

⁵ Spinoza [1676]). Veja o estudo de Marilena Chaui, *A nervura do real. Imanência e liberdade em Espinosa* (Chaui [1999]).

racionais⁶. Podem ser constatados conflitos deste gênero em muitos capítulos da ciência contemporânea; por exemplo, tanto na resistência do público quanto na dos próprios homens de ciência aos novos conhecimentos.

A recepção à teoria da relatividade de Einstein, em suas duas formas, a restrita e a geral, constitui disso um excelente exemplo. Os que se opunham à teoria evocavam o *senso comum* ou o *bom senso*, entendidos como a simples *razão natural*, para se elevar contra as noções abstratas, teóricas, puramente matemáticas, como a de espaço-tempo da relatividade restrita, ou a curvatura do espaço da relatividade geral. Os partidários da teoria de Einstein replicavam evocando um *outro senso comum*, que se apóia em uma análise mais crítica dos fenômenos para justificar as novas concepções e, sobretudo, para torná-las compreensíveis.

Um exemplo notável desta apresentação das idéias relativistas, segundo um senso comum renovado, é a que foi exposta em 1911 pelo físico Paul Langevin aos filósofos reunidos num Congresso em Bologna, na Itália. Depois de apresentar as razões da concepção relativista da física que renovava o quadro conceptual da mecânica clássica, Langevin propôs uma « experiência de pensamento », concernindo um fenômeno físico característico da nova teoria. Trata-se da experiência de pensamento do « viajante de Langevin », ou « dos « gêmeos de Langevin », justamente celebrada (e, também, mal entendida no início por certas pessoas), já que possibilitava a compreensão detalhada do sentido físico dos conceitos relativistas de espaço e de tempo⁷.

E útil explicar em poucas palavras a ideia essencial do raciocínio de Langevin⁸, quem foi um dos primeiros físicos a adotar a teoria da relatividade de Einstein, tanto a *relatividade restrita* (que trata dos movimentos de inércia, lineares e uniformes) quanto a *relatividade geral* (que trata dos movimentos acelerados e do campo de gravitação). Ele entendeu ao mesmo tempo a forma matemática (o espaço-tempo quase-euclidiano de Minkowski no que diz respeito à primeira, a métrica espaço-temporal variável em cada ponto e os espaços não-euclidianos no que concerne a segunda) e a significação física correspondente concernindo as modificações do espaço e do tempo. Excelente pedagogo, Langevin tinha o dom, como Einstein, de uma notável intuição física, que lhe permitia conceber os fenômenos físicos possíveis ilustrando o mais diretamente as novas visões teóricas. Foi desta maneira que ele imaginou as « experiências de pensamento » que possibilitavam « naturalmente » a compreensão das implicações das duas fases da teoria da relatividade (a do « viajante de Langevin » no caso da relatividade restrita ; a do « obus de Jules Verne », no caso da relatividade geral). As idéias da primeira são as seguintes.

Suponhamos um viajante do espaço que se afastaria da Terra numa velocidade bastante próxima da da luz, e que ficaria em comunicação com o planeta através da troca de sinais eletromagnéticos, retornando a Terra ao cabo de dois anos de seu tempo do relógio. (A inversão da direção, que não será considerada aqui, mas que se produziria ao final de seu primeiro ano, poderia ser

⁶ Bachelard [1938]).

⁷ Sobre a recepção da teoria da relatividade, veja : Glick [1987], Paty [1987], Paty [1996a].

⁸ Paul Langevin (1971-1946), físico francês. Ver a seu respeito a publicação recente : Bensaude-Vincent, Bustamante, Freire et Paty [2002].

feita rapidamente aproveitando do campo de gravitação de uma estrela). « Retornando à Terra, dois anos mais velho, ele sairá de seu arco e encontrará nosso globo envelhecido de duzentos anos, se sua velocidade se mantivesse somente no intervalo inferior de um vigésimo de milésimo da luz ». Esta velocidade determina o fator de dilatação do tempo do projétil em relação com o de um relógio terrestre. Apesar das dificuldades práticas consideráveis, uma tal viagem é em princípio possível. Langevin descreve minuciosamente como os terráqueos e o viajante trocariam informações sobre seus respectivos envelhecimentos através de sinais eletromagnéticos, luminosos ou rádio, o que os tornaria compreensíveis uns aos outros sem dificuldade.

Durante a viagem de ida, como eles se afastam um do outro, os sinais levariam muito tempo para chegar até eles : « Cada um deles verá o outro viver duzentas vezes mais lentamente do que normalmente », e o viajante, durante o primeiro ano, só receberá os sinais dos dois primeiros dias terrestres. Além do mais, estes sinais serão deformados pelo efeito Doppler-Fizeau : o viajante os receberá com um comprimento de onda duzentas vezes mais longo que os emitidos pela Terra nestes dois dias. Na volta, ocorreria o inverso : os sinais recebidos pelo cosmonauta teriam um comprimento de onda duzentas vezes mais curto que os emitidos da Terra, e « cada um deles verá o outro viver uma vida particularmente acelerada (...) e o explorador, no ano que durará seu retorno, verá a Terra realizar os gestos de dois séculos ». No total, o viajante terá visto « a Terra se afastar e se aproximar dele num espaço de tempo igual, do seu ponto de vista, a um ano, enquanto que a Terra (...) vê o viajante dela se distanciar num espaço de dois séculos e voltar em dois dias, isto é, em um tempo quarenta mil vezes mais curto ». (A dissimetria entre os dois espaços de tempo, o da Terra, o do viajante, se deve ao fato que o viajante foi submetido a uma inversão de direção, provocada por um movimento acelerado, que passa a considerar um referencial privilegiado)⁹.

A descrição das circunstâncias da viagem imaginada por Langevin deixava claro que os conceitos de espaço e de tempo da relatividade restrita não são puras abstrações matemáticas e que elas têm um conteúdo preciso do ponto de vista dos fenômenos físicos : um tal conteúdo poderia tornar-se concreto relacionando-se o tempo aos relógios e as velocidades às variações de comprimento das ondas luminosas. O sentido físico dos conceitos ia deste modo, sem discontinuidade, da forma teórica e matemática à sua ação sobre nossas percepções e nossas sensações. Os novos conceitos de espaço e de tempo eram tão racionais e naturais quanto os antigos (e o eram ainda mais, pois se adaptavam melhor ao conjunto dos fenômenos físicos) e se conciliavam igualmente com aqueles com o senso comum – um senso comum renovado. Mas este novo senso comum diferia do antigo pelo fato de fazer sua uma visão crítica de noções que anteriormente foram recebidas sem análise : admitia uma crítica das « noções comuns » como as de espaço e de tempo.

4. COMUNICAÇÃO E UNIVERSALIDADE DO CONHECIMENTO : A LIÇÃO DE GALILEO E DE LANGEVIN

⁹ Langevin [1923]), p. 265-300.

No exemplo que acabamos de evocar, o carácter « natural » dos novos conceitos, isto é, em acordo com os fenómenos, é aceite tanto pelos homens de ciência, especialistas na área, que podem fazer acompanhar as explicações de equações ou de experiências reais, quanto pelo público que não conhece os detalhes teóricos ou técnicos. Pelo menos este último pode doravante ter uma idéia do que está em jogo e integrar na sua própria visão do mundo, em sua cultura pessoal, as lições tiradas da relação entre os conceitos e os fenómenos e da significação da mediação teórica numa representação científica.

Esta lição tem uma importância considerável. E é a mesma já proposta por Galileo nos seus dois longos diálogos¹⁰, onde a argumentação, racional e em relação com os fenómenos, possibilitava a toda pessoa dotada de bom senso (e motivada por uma vontade sincera) a compreensão da maior verdade do sistema do mundo de Copérnico em detrimento do de Ptolomeu, ou das leis elementares da mecânica e da queda dos corpos. *Toda pessoa dotada de bom senso (e de boa vontade)* : isto é, dispondo de senso comum.

Para Galileo e também para Langevin, o senso comum não se opõe ao conhecimento científico, já que, ao contrário, é graças a esta capacidade que seus leitores ou ouvintes podem começar a compreender o que antes ignoravam. Eles somente precisam apurar seu senso comum, desembaraçá-lo dos preconceitos, submeter as idéias ao crivo da dúvida e da crítica, como, aliás, Descartes o preconizava. O senso comum não só resulta mais apurado deste exercício como, ao mesmo tempo, ele se nutre dos novos conhecimentos que lhe parecem doravante evidentes, aumentando assim a potencialidade de sua razão, cujo campo se amplifica, e cujas exigências são aprofundadas. Mais profundamente ainda que o senso comum, é a própria racionalidade que se amplifica.

5. O DESAFIO DA FISICA QUANTICA

Pode-se perguntar até que ponto os conceitos da física quântica também podem ser compreendidos, em princípio, pelo « homem da rua », se lhe falamos de átomos, de núcleos e de partículas elementares, de difracção de elétrons ou de nêutrons, da não-separabilidade quântica, das oscilações de neutrinos, de princípio de exclusão de Pauli, de condensado de Bose-Einstein, do gato de Schrödinger e de « decoerência ». A prática da divulgação científica é mais difícil e delicada no que diz respeito à física quântica, pois esta é uma área que escapa às representações habituais. Sua relação com o mundo familiar dos objetos e dos fenómenos clássicos é necessariamente remota e indireta¹¹.

Entre um "objeto" quântico no sentido próprio (diz-se de preferência um *sistema quântico*), e um objeto no sentido familiar da física clássica, têm-se a dupla barreira conceptual das pequenas dimensões e dos grandes números. Para as dimensões : 10^{-8} cm (por átomo), e 10^{-13} cm (para o núcleo), quando nossos

¹⁰ Veja, de Galileo, o *Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo ptolomaico e copernicano*, recentemente traduzido em português e ricamente comentado por Pablo Rubén Mariconda, (Galilei [1632]) ; e o *Discurso em torno de duas novas ciências* (Galilei [1638]).

¹¹ Veja a este respeito Hoffmann et Paty [1981].

sentidos só conseguem alcançar o micron (10^{-4} cm) graças a um microscópio ... E para os números : o do Avogadro, $N = 6. 10^{23}$ situa-se entre a molécula-grama que se pode pesar numa balança, e a molécula-unidade, que exige para ser alcançada que se desça deste número ... astronômico.

Por um lado, têm-se os objetos macroscópicos, com seus meios habituais de descrição : posição, velocidade, forma, etc. Por outro, os objetos microscópicos, que nos são conhecidos somente pelos efeitos que eles produzem em certos fenômenos macroscópicos, em geral por estatística : interferências de corpúsculos sobre uma grade (microscópica) de difração, necessidade de modificar a lei da radiação em uma cavidade, efeito fotoelétrico, supercondutividade, efeito laser, condensação de Bose-Einstein, etc. Embora tenhamos acesso a fenômenos produzidos por sistemas quânticos individuais, como se tornou possível depois de várias décadas, é ainda através de experiências estatísticas (repetidas muitas vezes num mesmo sistema) que se pode aceder às suas leis por experiência.

É estritamente impossível se representar uma « partícula quântica individual » com a ajuda de noções elementares com as quais descrevemos os objetos. Além do mais, supondo-se que possamos isolar, « descascando » sucessivamente um átomo-grama de uma dada substância de seus átomos, um ínfimo número de átomos ou um único átomo ao fim da operação (depois de algum tempo, isto é feito nos laboratórios, onde se sabe isolar os átomos, mesmo as partículas elementares), ele escaparia de nossa apreensão intuitiva, já que ele não é *localisável* no espaço. Seu carácter não localizável, aliás, dá origem a várias propriedades específicas de sistemas quânticos como a interferência de uma partícula quântica consigo mesma por difração, ou a não-separabilidade (ou « *intricação* » (em francês « *intrication* », em inglês « *entanglement* », termo proposto por Erwin Schrödinger em 1935¹²) de duas partículas quânticas que uma vez estiveram ligadas num mesmo sistema.

A descrição do campo quântico em termos simples e segundo conceitos usuais, ou pelo menos clássicos, que corresponderiam ao senso comum, parece então impossível à primeira vista. Toda tentativa de utilização de analogias clássicas tenderia, neste caso, ao fracasso. Ela não esclareceria nem o senso comum, nem a razão (o julgamento racional).

6. CONCEITOS E TEORIAS EM FISICA CLASSICA E EM FISICA QUANTICA.

Esclarecemos brevemente alguns dos conceitos da física quântica, para mostrar com mais precisão como é que o problema da compreensão, nesta area, é colocado.

A física clássica descreve os sistemas físicos, graças a conceitos expressos por grandezas matemáticas, em geral contínuas, como o espaço (x), o tempo (t), a velocidade (v), a massa (m), a impulsão (p), a energia (E), o movimento angular (J), o campo elétrico (E), a carga elétrica (e) ... As leis da física (mecânica, teoria da gravitação, eletromagnetismo, termodinâmica, etc.) são transcritas por equações diferenciais entre estas grandezas (elas fazem intervir de

¹² Schrödinger [1935].

suas mudanças recíprocas instantâneas infinitesimais : dx , dt , etc.) cujas soluções (por integração) são valores de grandezas finitas, mensuráveis graças à ajuda de instrumentos. Estes instrumentos são, por sua vez, regidos pelas leis da física clássica. Tanto a teoria quanto a experiência permitem deste modo um "acesso direto" aos objetos e aos fenômenos considerados.

A física quântica não possibilita um « acesso direto » neste mesmo sentido, porque os objetos (átomos, partículas elementares, radiações) escapam à percepção direta e tornam-se conhecidos através de fenômenos que não podem ser descritos da mesma maneira como os descritos acima. Estes fenômenos chegam ao nosso conhecimento através de instrumentos clássicos, ao mesmo tempo escapando à descrição clássica. Tornam-se conhecidos através dos valores das grandezas clássicas correspondentes aos conjuntos estatísticos. Entretanto, é possível caracterizar experimentalmente (depois de uns vinte anos), sistemas quânticos individuais e não apenas conjuntos estatísticos. A descrição teórica fornece a explicação disso, se admitimos que estes sistemas individuais só podem ser pensados graças unicamente aos conceitos quânticos, sem referi-los aos conceitos clássicos utilizados na medida.

A teoria quântica descreve com precisão as propriedades dos sistemas quânticos, mas através da intervenção das grandezas « abstratas », de expressão matemática, muito diferentes das que a física clássica nos havia habituado, e cujas relações são igualmente equações diferenciais, cujas soluções permitem encontrar as grandezas de tipo clássico, observadas e medidas. As regras de correspondência põem em relação as grandezas quânticas (teóricas) e as grandezas (clássicas) observadas.

As grandezas quânticas são a *função de estado* e as *variáveis dinâmicas* (chamadas « observáveis », embora elas só o sejam indiretamente, através das quantidades clássicas). A função de estado é, matematicamente, um « vector de espaço de Hilbert », as variáveis dinâmicas são os « operadores » (de diferenciação, ou matrizes) agindo sobre a função de estado. As leis da física quântica são equações escritas com estas entidades, « equações de valores próprios », cujas soluções fornecem o espectro dos valores possíveis destas grandezas, correspondendo às obtidas através de observação. A diferença entre a fase de descrição teórica e a de observação consiste no fato que a segunda nos fornece separada e consecutivamente cada um dos estados possíveis (ψ_1 , ψ_2 , ψ_3, \dots), enquanto que a primeira indica globalmente o conjunto destes estados "superpostos" (trata-se do "princípio de superposição"). Com efeito, a função de estado a mais geral é uma superposição linear de soluções possíveis ($\psi = a_1\psi_1 + a_2\psi_2 + a_3\psi_3 + \dots$). Os estados observados na aparelhagem correspondem a cada um dos elementos da superposição (ψ_i) afetado de uma probabilidade fornecida pelo seu módulo quadrado ($P_i = |\psi_i|^2$).

O « problema de interpretação » em física quântica volta a ser essencialmente o da significação da diferença e da relação entre os estados e grandezas *teóricos*; por um lado e, por outro, os estados e grandezas *observados*, já que todas as propriedades especificamente quânticas podem ser consideradas como consequências da aplicação do princípio de superposição.

7. AS INTERPRETAÇÕES VOLTADAS PARA O SENSO COMUM

Foi então possível obter uma descrição teórica dos sistemas quânticos : a *teoria quântica* em suas diversas formas *mecânica quântica*, *teoria quântica dos campos*, etc., que, sob muitos pontos de vista, é incomparavelmente mais precisa e sujeita a condições (preditiva) que as da física clássica. Porém, esta teoria é frequentemente considerada como « um formalismo matemático », cujas grandezas (função de estado, variáveis dinâmicas-operadores) não teriam uma contrapartida física direta : o vínculo com os fenômenos observados é fornecido por certas regras, como a « interpretação probabilista » da função de estado, elaborada por Max Born, em 1926. A *função de estado* é uma grandeza com propriedades matemáticas definidas com precisão, cujo quadrado da amplitude fornece as probabilidades das configurações de estado observadas, ou observáveis, correspondendo aos resultados estatísticos das medidas. Esta função de estado (também chamada « função de onda », mesmo se ela não representa uma onda real) é solução da equação do sistema, e possibilita exprimir, graças às suas propriedades matemáticas, todas as características da descrição dos fenômenos físicos especificamente quânticos.

O conhecimento racional, teórico, do domínio quântico que escapa aos sentidos, e ao senso comum, é, portanto, possível, e sua comunicação pelo ensino beneficia doravante de uma longa e rica experiência. Mas qual é, neste caso, o estatuto do senso comum? Seria tentador aqui estabelecer uma distinção radical entre uma comunicação dirigida ao público, que se tornaria praticamente impossível devido à incapacidade do senso comum de aceder a este domínio abstrato, e uma outra, reservada aos especialistas, unicamente fundada sobre o « formalismo matemático » da teoria quântica e sobre o *savoir-faire* (ou *know-how*) experimental, o único capaz de recuperar o sentido físico.

Entretanto, pode-se considerar artificial uma tal solução, pois os especialistas da física quântica não são feitos de uma matéria diferente da do « homem da rua » que supostamente se interessaria aos quanta. Ora, os físicos também experimentam a necessidade de compreender « intuitivamente » e de modo sintético o que eles abordam tecnicamente, através do formalismo matemático e das experiências realizadas. Nisto consiste toda a questão da « interpretação » da física quântica, e primeiramente de sua forma mais « simples », a mecânica quântica, com seu aparelho teórico abstrato e suas experiências, aparentemente paradoxais.

No fundo, o cuidado com que os fundadores da física quântica abordavam a questão da *interpretação* não se dissocia da preocupação de tornar simplesmente compreensíveis, intuitivamente, a todo espírito « racional », a significação de um fenômeno quântico, às custas de um esforço de integração intelectual dos diversos elementos, conceptuais, teóricos, experimentais, para assimilá-los numa visão sintética imediata. Isso seria realmente « compreender » os fenômenos quânticos, que se tornariam completamente *inteligíveis* para nós. Uma vez que esta assimilação é feita para consigo mesmo, e, em seguida, partilhada entre especialistas, deveria ser possível tornar o essencial compreensível a todo mundo, dotado de razão e de um pouco de boa vontade para aprender. Se o que se acaba de dizer tem um sentido, ainda é pela expressão

« senso comum », mas entendida como capacidade universal de perceber a razão das coisas, que este sentido seria melhor exprimido. E é isso que parece continuar pendente na área da física quântica, já que os próprios especialistas não estão certos de terem chegado a isso satisfatoriamente. Ou, pelo menos, nem todos chegaram às mesmas conclusões, porque eles não têm absolutamente a mesma concepção do que seja a racionalidade nese domínio.

Voltemos alguns instantes á questão da interpretação em física quântica e ás posições diversas a seu respeito, consideradas nas suas grandes linhas¹³.

A natureza abstrata e indireta da descrição pela teoria quântica suscitou muitos problemas de compreensão desta teoria. Os físicos manuseavam com sucesso o formalismo, mas sem poder referi-lo a entidades que eles poderiam se representar intuitivamente, como as grandezas clássicas. Esta *dificuldade para o senso comum*, inerente às próprias condições da física quântica, dou origem ao *debate sobre a interpretação* da mecânica quântica, a fim de propor uma inteligibilidade (conforme ao senso comum) desta área do conhecimento.

A posição de Niels Bohr e da « Escola de Copenhague » respondia em termos de *procedimentos de observação* : só se deve considerar um sistema quântico no interior do dispositivo (clássico) de sua medida, adequada à nossa percepção (portanto, às nossas noções comuns); e a descrição deste conjunto é feita pelas grandezas clássicas, munidas de condições de restrição. Segundo esta concepção, a noção de *sistema físico real existente independentemente* de suas condições de observação (e mesmo *concebíveis* independentemente de tais condições) é desprovida de sentido. Outros físicos (Louis de Broglie, David Bohm, Jean-Pierre Vigier, etc.) avançavam a necessidade de manter a idéia de uma descrição direta dos sistemas, insistindo num *determinismo*, oposto às limitações probabilistas (e necessidade para eles do senso comum) : sugerindo completar a descrição quântica (estatística e indeterminista) com variáveis suplementares ocultas "deterministas". Outros ainda, com Einstein, davam ênfase à necessidade de analisar os *sistemas físicos reais individuais*, mesmo ao admitir um grau elevado de abstração dos conceitos e das teorias, e um maior afastamento entre a representação teórica e os dados empíricos : o « senso comum », entretando, lhe parecia pedir a permanência da idéia de uma *localização espacial* precisa, que os sistemas quânticos não respeitavam¹⁴.

Uma concepção, um pouco diferente, do "*realismo quântico*" manteria a idéia de *sistemas físicos reais individuais*, admitindo completamente a importância do ponto de vista crítico da teoria quântica em comparação com os conceitos clássicos. O conhecimento destes sistemas se refere à percepção só indiretamente, tomando por um dado bruto os resultados da observação, dado que informa o *entendimento*, estando este livre para elaborar suas construções teóricas. O « senso comum », como instância de julgamento, exigiria, para uma *teoria direta*, a coerência teórica e a representação a mais estritamente fiel dos fenômenos em suas especificidades. Ora, uma tal representação já existe;

¹³ Veja Jammer [1974].

¹⁴ Sobre algumas dessas posições, veja em part. : Bohr [1958], Einstein & Born [1969]1990, Langevin [1934], Bohm [1980], Bell [1987], d'Espagnat [1994]. Veja também Freire [1995], Paty [1988, à paraître, a].

inegavelmente trata-se da do formalismo da atual teoria quântica, já que o que dá conta destes fenômenos é sua propriedade fundamental de superposição linear das funções de estado. Tais fenômenos são produzidos experimentalmente a partir do pensamento teórico (por grandezas quânticas como a *função de estado*), que eles contribuem desta maneira a tornar *concreto* e *intuitivo* apesar de seu carácter inicial abstrato (conforme a fórmula de Langevin : « O concreto, é o abstrato tornado familiar pelo uso »). Estes fenômenos são predominantemente a *difracção* e a *interferência* de partículas, produzidas individualmente, entre si mesmas, a interação de átomos individuais com seu próprio campo magnético, as « oscilações de neutrinos », as propriedades dos *sistemas quânticos idênticos indiscerníveis*, com o princípio de exclusão de Pauli, e a « condensação de Bose » ; e ainda a « decoerência quântica » recentemente observada¹⁵. Eles teriam sido impensáveis sem a teoria quântica e seus conceitos, fazendo-nos, por assim dizer, ver com os próprios olhos¹⁶ estes últimos e a realidade do sistema quântico do qual eles são os efeitos, da *função de estado* que o descreve. Neste sentido, uma *nova intuição* e um *novo senso comum* adequados à realidade quântica foram constituídos, dando-nos uma *inteligibilidade mais imediata* dos fenômenos quânticos.

8. A FORMAÇÃO DE UMA INTELIGIBILIDADE INTUITIVA

A questão da inteligibilidade, pelos homens de ciência, dos fenômenos quânticos e da leis dos sistemas físicos que nela se baseiam, relaciona-se, portanto, com a questão da assimilação pelo senso comum, na mesma medida que a ela se pode relacionar a questão da comunicação destes conhecimentos. Constata-se que, na maior parte das *interpretações*, o senso comum deve ser modificado para assimilar tais conhecimentos.

De fato, os físicos que se consagram à física quântica são levados a transformar seu próprio senso comum de maneira mais prática do que discursiva, chegando a compreender de modo sintético, e por assim dizer, diretamente, a significação das grandezas teóricas em termos de fenômenos. O que se torna possível tanto ao analisar-se estes fenômenos, quanto ao criá-los, materializando de algum modo os elementos da teoria em fenômenos físicos que eles podem manipular. Deste modo, eles constituem para si mesmos uma *inteligibilidade intuitiva* dos conceitos quânticos que não passa mais por conceitos clássicos. E assim não se surpreendem mais diante dos fenômenos, experimentados no laboratório, que chocariam o senso comum corrente, já que eles se colocam no mesmo plano no sistema de conceitos que exprime a possibilidade de tais fenômenos. A teoria física lhes terá permitido *conceber*, a partir de seus conceitos tão afastados da representações clássicas, fenômenos físicos que então é possível *ver*. Ao contrário, na fase de aprendizagem da área quântica, parecia ser necessário referir todo conhecimento a um ver imediato (o dos instrumentos de observação). Esta compreensão familiar não submissa ao *diktat* clássico resulta de uma assimilação teórico-fenomenal que precisou se desfazer das sujeições do

¹⁵ Veja Zurek [1991], Griffin, Snoke & Stringari [1995] ; Haroche, Brune & Raimond [1997], Haroche, Brune & Raimond [1997]). Sobre os aspectos epistemológicos destas questões, veja : Paty [1999a, 2000a, b]).

¹⁶ Em francês : « toucher du doigt ».

senso comum anterior, para aceder a uma racionalidade mais imediata. Para esta, não é necessária uma interpretação suplementar, já que ela fornece diretamente a inteligibilidade dos conceitos e dos fenômenos. E é o próprio vínculo entre os conceitos e os fenômenos que atravessa a estrutura desta nova racionalidade ampliada¹⁷..

9. NO RUMO DA QUESTÃO « INTELIGIBILIDADE E ÉTICA »

Estas considerações têm implicações éticas, sob vários pontos de vista, que não podemos analisar aqui ; queremos apenas concluir com sua breve evocação. Está claro para todos que os problemas éticos apontados pelo conhecimento científico na sua relação com o senso comum dizem respeito às aplicações destes conhecimentos, e seus efeitos sobre o mundo, sobre o homem (não somente os medicamentos, a biogenética ou os meios de morte : pensemos, por exemplo, nas florestas de antenas que começaram a cobrir a superfície da Terra desde a teoria magnética de James C. Maxwell e as experiências de Heinrich Hertz). Os problemas desta natureza se multiplicam atualmente e sua importância é crucial para o mundo de amanhã. Eles testemunham visivelmente o vínculo que existe entre os conteúdos dos conhecimentos científicos, o pensamento científico, e as outras dimensões do pensamento e das atividades humanas nas quais o senso comum tem um papel ainda mais direto. Eles mostram como o pensamento racional e que visa a objectividade é inseparável da vontade e de escolhas éticas, seja na unidade singular dos espíritos individuais ou nas coletividades sociais.

Mas a dimensão ética não diz respeito somente às aplicações técnicas e práticas do conhecimento científico. Ela concerne o próprio conhecimento enquanto *pensamento*.

A ética reside também e sobretudo no próprio movimento que leva o pensamento científico, do qual se apropria o indivíduo, a escolher livremente a submissão à idéia de verdade, que o conduz a uma autêntica ascese intelectual e espiritual¹⁸. Uma ascese que não abra mão da exigência de racionalidade, e que aceite mudar a sua concepção inicial do que é racional para tornar-se mais fiel à idéia de racionalidade, que transcende e anima, num processo imanente, seu pensamento. Uma tal ética implica ao mesmo tempo uma preocupação com o processo de comunicação, isto é, com a possibilidade de compartilhar o conhecimento em termos inteligíveis com os não-especialistas¹⁹, através do senso comum submetido à crítica. Uma reflexão epistemológica a respeito da significação e das condições de comunicação dos elementos do conhecimento a serem partilhados se faz necessária. Aqui nós estamos diante de outras considerações, mas convergentes com as que analisamos sobre a inteligibilidade. O que aí está em jogo é a natureza e o alcance da própria ciência : é claro que uma reflexão deste tipo é necessária para a vida da ciência, acompanhando a aparição dos seus novos conteúdos de conhecimento. Sem uma compreensão reflexiva que

¹⁷ Veja Paty [2001a, b, 2002].

¹⁸ Refiro-me aqui às idéias de ascese e de ética do conhecimento científico exprimidas por Jacques Monod em *Le hasard et la nécessité* (Monod [1970]).

¹⁹ Voir, en particulier, Lopes et Leopoldo e Silva [1990].

possa garantir que a ciência tenha consciência dela mesma nas suas diversas dimensões, corre-se o risco de asfixiá-la, por mais rica que seja.

Michel PATY

*Equipe REHSEIS (UMR 7596),
CNRS et Université Paris 7-Denis Diderot,
Adresse postale : Centre Javelot, 2 Place Jussieu, F-75251 Paris-Cedex, France.
Correio electr. : paty@paris7.jussieu.fr*

Traduzido do original em francês por Maria Aparecida Corrêa-Paty

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- BACHELARD, Gaston [1938]. *La formation de l'esprit scientifique*, Vrin, Paris, 1938.
- BELL, John S. [1987]. *Speakable and unspeakable in quantum mechanics*, Cambridge University Press, Cambridge, 1987.
- BENSAUDE-VINCENT, Bernadette ; BUSTAMANTE, Martha-Cecilia ; FREIRE, Olival et PATY, Michel (éds.) [2002]. *Paul Langevin, son œuvre et sa pensée. Science et engagement*, numéro spécial de *Epistémologiques. Philosophie, sciences, histoire. Philosophy, science, history* (Paris, São Paulo) 2, n°1-2, 2002.
- BOHM, David [1980]. *Wholeness and the implicate order*, Routledge and Kegan Paul, London, 1980.
- BOHR, Niels [1958]. *Atomic physics and human knowledge*, New York, Wiley, 1958 ; trad. fr. par Edmond Bauer et Roland Omnès, *Physique atomique et connaissance humaine*, Paris, Gauthier-Villars, nle éd. établie par Catherine Chevalley, Paris, Gallimard, 1991.
- CHAUI, Marilena [1999]. *A nervura do real. Imanência e liberdade em Espinosa*, vol. 1. *Imanência*, 1999, 2 tomes.
- DESCARTES, René [1637]. *Discours de la méthode* (1637), in *Oeuvres de Descartes*, publiées par Charles Adam et Paul Tannery, 11 volumes (1ère éd., 1896-1913) ; nouvelle édition révisée, 1964-1974 ; ré-éd., 1996., vol. 6, p. 1-78.
- EINSTEIN, Albert & BORN, Max [1969]. *Briefwechsel 1916-1955*, Nymphenburger Verlagshandlung, München, 1969. Trad. fr. par Pierre Leccia, *Correspondance 1916-1955*, commentée par Max Born, Seuil, Paris, 1972.
- ESPAGNAT, Bernard D' [1994]. *Le réel voilé. Analyse des concepts quantiques*, Fayard, Paris, 1994.
- FREIRE Jr., Olival [1995]. *A emergencia da totalidade. David Bohm e a controversia dos quanta*, Tese de doutorado, Dpto de História, Universidade de São Paulo, 1995.
- GALILEE, Galileo Galilei dit [1632]. *Dialogo sopra i due massimi sistemi del mondo tolemaico, e copernicano*, Elsevier, Leyde, 1632. Tr. fr. : *Dialogue sur les deux grands systèmes du monde*, Paris, Seuil, 1992. Voir l'édition critique en

portugais (Brésil) préparée avec introduction et commentaires par Pablo Mariconda : *Diálogo sobre os dois máximos sistemas do mundo ptolomaico e copernicano*, tradução, introdução e notas de Pablo Rubén Mariconda, Discurso editorial, São Paulo, 2001.

GALILEE, Galileo Galilei dit [1638]. *Discorsi e dimostrazioni mathematiche intorno di due nuove scienze*, Leyde, 1638 ; ré-éd., avec introd; et notes, par A. Carugo et L. Geymonat, Boringhieri, 1958. Trad. fr. par Maurice Clavelin, *Dialogues sur deux sciences nouvelles*, trad. A. Colin, Paris, 1970.

GLICK, Thomas (ed.) [1987]. *The Comparative reception of relativity*, Reidel, Dordrecht, 1987

GRIFFIN, A, SNOKE, D.W. & STRINGARI, S. (eds.) [1995]. *Bose-Einstein condensation*, Cambridge University Press, 1995.

HAROCHE, Serge, BRUNE, M. & RAIMOND, Jean-Michel [1997]. Experiments with single atoms in a cavity : entanglement, Schrödinger's cats and decoherence, *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A*, 1997, 355, 2367-2380.

HOFFMANN, Banesh et PATY, Michel [1981]. *L'étrange histoire des quanta*, Seuil, Paris, 1981 ; éd. augm., 1991.

JAMMER, Max [1974]. *The philosophy of quantum mechanics. The interpretations of quantum mechanics in historical perspective*, Wiley and sons, New York, 1974.

LANGEVIN, Paul [1923]. *La physique depuis vingt ans*, Doin, Paris, 1923.

LANGEVIN, Paul [1934]. *La notion de corpuscules et d'atomes*, Hermann, Paris, 1934.

LOPES, João Aloisio, e LEOPOLDO E SILVA, Franklin (org.) [1990] . *Filosofia da comunicação*, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1990.

MEHRA, Jagdish and RECHENBERG, Helmut [1982]. *The historical development of quantum theory*, Springer, New York, 1982, 7 vols.

MEYERSON, Emile [1908]. *Identité et réalité*, Alcan, Paris, 1908.

MEYERSON, Emile [1921]. *De l'Explication dans les sciences*, 2 vols., Payot, Paris, 1921.

MEYERSON, Emile [1931]. *Du cheminement de la pensée*, 3 vols., Alcan, Paris, 1931.

MONOD, Jacques [1970]. *Le hasard et la nécessité*, Seuil, Paris, 1970.

PATY, Michel [1987]. The scientific reception of relativity in France, in Glick [1987], p. 113-167.

PATY, Michel [1988]. *La matière dérobée. L'appropriation critique de la physique contemporaine*, Ed. des Archives contemporaines, Paris, 1988. Trad. em português por Mary Amazonas Leite de Barros, *A materia roubada. A apropriação crítica do objeto da física contemporânea*, EDUSP, São Paulo, 1995.

PATY, Michel [1996]. A recepção da Relatividade no Brasil e a influência das tradições científicas europeias, trad. en Portugais (Brésil) par Ana Maria Alves, in Hamburger, Amelia Imperio; Dantes, Maria Amelia; Paty, Michel et Petitjean, Patrick (eds.), *A ciência nas relações Brasil-França (1850-1950)*, EDUSP, São

Paulo, 1996, p. 143-181. Original em francês : La réception de la Relativité au Brésil et l'influence des traditions scientifiques européennes, *Archives Internationales d'Histoire des Sciences* 49, 1999, n° 143, 331-368.

PATY, Michel [1999]. Are quantum systems physical objects with physical properties ?, *European Journal of Physics* 20, 1999 (november), 373-388.

PATY, Michel [2000a]. Interprétations et significations en physique quantique, *Revue Internationale de Philosophie* (Bruxelles), n°212, 2 (juin) 2000, 199-242.

PATY, Michel [2000b]. The quantum and the classical domains as provisional parallel coexistents, *Synthese* (Kluwer, Dordrecht/Boston), 125, n°1-2, oct.-nov. 2000, 179-200. (In French, Steven ; Krause, Décio ; Doria, Francisco (eds.), *In honour of Newton da Costa, on the occasion of his seventieth birthday*).

PATY, Michel [2001a]. La notion de grandeur et la légitimité de la mathématisation en physique, in Espinoza, Miguel (éd.), *De la science à la philosophie. Hommage à Jean Largeault*, L'Harmattan, Paris, 2001, p. 247-286.

PATY, Michel [2001b]. Intelligibilité et historicité (Science, rationalité, histoire), in Saldaña, Juan José (ed.), *Science and Cultural Diversity. Filling a Gap in the History of Science*, Cadernos de Quipu 5, México, 2001, p. 59-95.

PATY, Michel [2002a]. Les concepts de la physique : contenus rationnels et constructions dans l'histoire, *Principia* (Florianopolis, Br), 2002, 187-218.

PATY, Michel [à paraître]. *Einstein, les quanta et le réel (critique et construction théorique)*.

SCHRÖDINGER, Erwin [1935]. Die gegenwärtige Situation in der Quantenmechanik, *Die Naturwissenschaften* 23, 1935, 807-812 ; 824-828 ; 844-849. Egalt in E. Schrödinger, *Gesammelte Abhandlungen. Collected papers*, 4 vols., Verlag der Oesterreichischen Akademie der Wissenschaften/ Vieweg und Sohn, Braunschweig/Wien, 1984. [1984], vol. 3, p. 484-501.

SPINOZA, Baruch [1676]. *Ethica* (1676). Trad. du latin par Charles Appuhn, *Ethique*, in B.S., *Œuvres*, Garnier-Flammarion, Paris, vol. 2, 1964.

WITTGENSTEIN, Ludwig [1921]. *Tractatus Logico-philosophicus*, *Annalen der Naturphilosophie*, 1921. Engl. transl., Routledge & Kegan Paul, New York, 1961. Trad. em português com Apresentação e Ensaio Introdutivo por Luis Henrique dos Santos, Edusp, São Paulo, 1993 ; 2a ed. ampliada, 1994.

WITTGENSTEIN, Ludwig [1961]. *Notebook, 1914-1916*, edited by G. H. von Wright and G.E.M. Anscombe, with an English translation by G.E.M. Anscombe, Basil Blackwell, Oxford/ Harper and Row, New York, 1961. Trad. fr. et notes de G. G. Granger, *Carnets 1914-1916*, Gallimard, Paris, 1971.

WITTGENSTEIN, Ludwig [1969]. *Über Gewissheit. On Certainty*, Herausgegeben von G. E. M. Anscombe und G. H. von Wright, Translated by Denis Paul and G. E. M. Anscombe, Harper and Row, New York, 1969.

ZUREK, Wojcieh H. [1991]. Decoherence and the Transition from Quantum to Classical, *Physics Today*, 44, oct. 1991, 36-44.